(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B1)　(11)特許番号
特許第5906506号
(P5906506)
(45)発行日　平成28年4月20日(2016.4.20)　(24)登録日　平成28年4月1日(2016.4.1)

(51)Int.Cl.		FI		
F15B 15/10	(2006.01)	F15B	15/10	H
B25J 19/00	(2006.01)	B25J	19/00	A
A61F 2/74	(2006.01)	A61F	2/74	
B25J 11/00	(2006.01)	B25J	11/00	
A61H 3/00	(2006.01)	B25J	11/00	Z

請求項の数 8　(全 22 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2014-186931 (P2014-186931)
(22)出願日　平成26年9月12日(2014.9.12)
審査請求日　平成28年1月6日(2016.1.6)

(出願人による申告) 平成２６年４月１日付け平成２６年度「脳の仕組みを活かしたイノベーション創成型研究開発（高精度脳情報センシング技術・脳情報伝送技術、実時間脳情報抽出・解読技術　及び　脳情報解読に基づく生活支援機器制御技術）」研究開発委託契約、産業技術力強化法第１９条の適用を受ける特許出願

早期審査対象出願

(73)特許権者　393031586
株式会社国際電気通信基礎技術研究所
京都府相楽郡精華町光台二丁目２番地２
(74)代理人　100109162
弁理士　酒井　將行
(72)発明者　野田　智之
京都府相楽郡精華町光台二丁目２番地２
株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
(72)発明者　森本　淳
京都府相楽郡精華町光台二丁目２番地２
株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

審査官　関　義彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】アクチュエータ装置、パワーアシストロボットおよびヒューマノイドロボット

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

流体圧により駆動されるアクチュエータ装置であって、

一方端が固定され、駆動のために外部から流体袋に流入される前記流体圧の上昇に伴って長手方向に収縮する流体圧人工筋と、

前記流体圧人工筋の他方端から駆動対象物に前記流体圧人工筋の収縮力を伝達するための可撓性の駆動力伝達用ケーブルと、

前記駆動力伝達用ケーブルの所定位置に固定されるストッパと、

前記流体圧人工筋の他方端側に設けられ、前記流体圧人工筋の収縮が所定以上となることに応じて、前記ストッパと係合して前記流体圧人工筋の収縮力を前記駆動力伝達用ケーブルに伝達するための係合部材と、

前記ストッパと前記係合部材とが前記係合状態以外の状態では、前記駆動力伝達用ケーブルの張力を維持するように張力を付与する付勢手段とを備える、アクチュエータ装置。

【請求項２】

前記流体圧人工筋内部に前記流体圧人工筋の他方端に固定されて設けられ、前記流体圧から内部がシールされたシリンダをさらに備え、

前記係合部材は、前記前記流体圧人工筋の他方端に設けられる前記シリンダの蓋体であって、前記蓋体は、前記駆動力伝達用ケーブルが挿通する貫通孔を有し、

前記ストッパは、前記シリンダ内部で、前記駆動力伝達用ケーブルに固定され、前記貫通孔以上の外径を有して、前記貫通孔と係合可能であり、

前記付勢手段は、前記シリンダの底部と前記ストッパとを結合する弾性部材である、請求項１記載のアクチュエータ装置。
【請求項３】
前記駆動力伝達用ケーブルは、ボーデンケーブルである、請求項１または２記載のアクチュエータ装置。
【請求項４】
前記流体圧人工筋の両端は、フレーム構造体内部に固定され、
前記駆動力伝達用ケーブルは、前記フレーム構造体の一端側の貫通孔を介して、前記駆動対象物と結合する、請求項１～３のいずれか１項に記載のアクチュエータ装置。
【請求項５】
前記フレーム構造体内部の他方端側の内面と前記流体圧人工筋との間に、前記流体圧人工筋の収縮力を検知するための力センサが設けられる、請求項４記載のアクチュエータ装置。
【請求項６】
前記駆動対象物は、関節構造体であって、
前記関節の可動部に設けら、前記駆動力伝達用ケーブルにより伝達される前記収縮力による第１のトルクを受けるプーリーと、
前記プーリーに結合し、第２のトルクを前記プーリーに与えるための電動モータとをさらに備える、請求項１～５に記載のアクチュエータ装置。
【請求項７】
ユーザの筋骨格系運動の支援をするためのパワーアシストロボットであって、
外骨格に対応するフレーム構造と、
前記筋骨格系運動において対象となる前記ユーザの関節にサポート力を与えるように配置される能動関節と、
前記能動関節を駆動するアクチュエータ装置とを備え、
前記アクチュエータ装置は、
一方端が固定され、駆動のために外部から流体袋に流入される前記流体圧の上昇に伴って長手方向に収縮する流体圧人工筋と、
前記流体圧人工筋の他方端から駆動対象物に前記流体圧人工筋の収縮力を伝達するための可撓性の駆動力伝達用ケーブルと、
前記駆動力伝達用ケーブルの所定位置に固定されるストッパと、
前記流体圧人工筋の他方端側に設けられ、前記流体圧人工筋の収縮が所定以上となることに応じて、前記ストッパと係合して前記流体圧人工筋の収縮力を前記駆動力伝達用ケーブルに伝達するための係合部材と、
前記ストッパと前記係合部材とが前記係合状態以外の状態では、前記駆動力伝達用ケーブルの張力を維持するように張力を付与する付勢手段とを含み、
前記能動関節に対するトルク制御により前記能動関節を動作させる制御部をさらに備える、パワーアシストロボット。
【請求項８】
ヒューマノイドロボットであって、
人間の骨格に対応するフレーム構造と、
前記フレーム構造の関節に駆動力を与えるように配置される能動関節と、
前記能動関節を駆動するアクチュエータ装置とを備え、
前記アクチュエータ装置は、
一方端が固定され、駆動のために外部から流体袋に流入される前記流体圧の上昇に伴って長手方向に収縮する流体圧人工筋と、
前記流体圧人工筋の他方端から駆動対象物に前記流体圧人工筋の収縮力を伝達するための可撓性の駆動力伝達用ケーブルと、
前記駆動力伝達用ケーブルの所定位置に固定されるストッパと、
前記流体圧人工筋の他方端側に設けられ、前記流体圧人工筋の収縮が所定以上となる

ことに応じて、前記ストッパと係合して前記流体圧人工筋の収縮力を前記駆動力伝達用ケーブルに伝達するための係合部材と、

前記ストッパと前記係合部材とが前記係合状態以外の状態では、前記駆動力伝達用ケーブルの張力を維持するように張力を付与する付勢手段とを含む、ヒューマノイドロボット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、アクチュエータ装置の技術に関し、より特定的には、アクチュエータ装置を使用して、使用者（ユーザ）の行う運動を支援するパワーアシストロボットやヒューマノイドロボットに関するものである。

【背景技術】

【０００２】

日本をはじめ多くの国で少子高齢化社会が問題になる中、ロボティクス技術を応用したアシスト機器への要望が高まっている。一方、バランスや歩行が可能なロボットが開発されてきている。例えば、運動に必要な作用力を空間上の任意の複数接触点に最適に配分し，ヒトと同じように各関節のトルクを発生できるロボットが存在する（特許文献１参照）。

【０００３】

また、近年では、下肢・体幹運動の支援をめざした外骨格型ロボットのようなリハビリテーションを支援するロボットの開発をますます要求することとなってきている。たとえば、外骨格型ロボットは、患者の自立生活を促進するリハビリテーションにおいて、脊髄損傷患者などのために使用される（たとえば、非特許文献１，２、３、４、５を参照）。

【０００４】

外骨格型ロボットは、高齢者の動作を支援するために外骨格型ロボットを使用することができ、リハビリテーションが脳卒中患者あるいは脊髄損傷患者のリカバリを支援するための有用なデバイスになりえる。

【０００５】

外骨格型ロボットのアームは、敏捷性と安全性の理由から、小さな慣性を持つ必要があるので、重いアクチュエーターの使用は望ましくない。他方で、ユーザー動作を支援するために十分に大きなトルクを生成することができるアクチュエーターを使用する必要がある。これらの２つの必要条件は矛盾しているように見える。

【０００６】

この外骨格ロボットの開発の問題に対処するために、空圧人工筋肉(PAM: Pneumatic Artificial Muscles)および小規模モータからなるハイブリッド動作システムを使用技術が報告されている（特許文献２，３，４，５を参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００７】

【特許文献１】ＷＯ２００７／１３９１３５号公報

【特許文献２】特開２０１２－０４５１９４号公報

【特許文献３】特開２０１４－５７６２６号公報

【特許文献４】特開２０１４－１０４５４９号公報

【特許文献５】特開２０１４－１５５９９８号公報

【非特許文献】

【０００８】

【非特許文献１】K. Suzuki, M. G. Kawamoto, H. Hasegarwa, and Y. Sankai, “Intension-based walking support for paraplegia patients with Robot Suit HAL, ”Advanced Robotics, vol. 21, no. 12, pp. 1441-1469, 2007.

【非特許文献２】S. K. Au, P. Dilworth, and H. Herr. An ankle-foot emulation sy

stem for the study of human walking biomechanics. In IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2939{2945, 2006.
【非特許文献３】H. Kobayashi, A. Takamitsu, and T. Hashimoto. Muscle Suit Development and Factory Application. International Journal of Automation Technology, Vol. 3, No. 6, pp. 709-715, 2009.
【非特許文献４】G. Yamamoto and S. Toyama. Development of Wearable Agri-Robot- Mechanism for Agricultural Work. In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System, pp. 5801{5806, 2009.
【非特許文献５】T. Kagawa and Y. Uno. Gait pattern generation for a power-assist device of paraplegic gait. In The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp. 633{638, 2009.
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００９】
ただし、ハイブリッド型アクチュエータを用いる場合に、人間の動作のアシストの際のことを考慮すると、外骨格型ロボットの関節およびアクチュエータ部分は、さらに慣性が小さく、また、バックドライバビリティを有することが望ましい。特に、人間の上肢の動作のアシストをする場合には、下肢に比べて、より慣性が小さいことが望ましい。
【００１０】
また、このようなハイブリッド型アクチュエータを、ヒューマノイドロボットなどに適用する場合にも、可動部分については、重量が小さいことが望ましい。
【００１１】
本発明は、上記のような問題点を解決するためになされたものであって、その目的は、駆動力と応答性を両立させるハイブリッド型アクチュエータにおいて、可動部分の慣性を小さくすることが可能なアクチュエータ装置を提供することである。
【００１２】
この発明の他の目的は、駆動力と応答性を両立し、可動部分の慣性を小さくしたハイブリッド型アクチュエータを使用したパワーアシストロボットおよびヒューマノイドロボットを提供することである。
【課題を解決するための手段】
【００１３】
この発明の１つの局面に従うと、流体圧により駆動されるアクチュエータ装置であって、一方端が固定され、駆動のために外部から流体袋に流入される流体圧の上昇に伴って長手方向に収縮する流体圧人工筋と、流体圧人工筋の他方端から駆動対象物に流体圧人工筋の収縮力を伝達するための可撓性の駆動力伝達用ケーブルと、駆動力伝達用ケーブルの所定位置に固定されるストッパと、流体圧人工筋の他方端側に設けられ、流体圧人工筋の収縮が所定以上となることに応じて、ストッパと係合して流体圧人工筋の収縮力を駆動力伝達用ケーブルに伝達するための係合部材と、
ストッパと係合部材とが係合状態以外の状態では、駆動力伝達用ケーブルの張力を維持するように張力を付与する付勢手段とを備える、アクチュエータ装置。
【００１４】
好ましくは、アクチュエータ装置は、流体圧人工筋内部に流体圧人工筋の他方端に固定されて設けられ、流体圧から内部がシールされたシリンダをさらに備え、係合部材は、流体圧人工筋の他方端に設けられるシリンダの蓋体であって、蓋体は、駆動力伝達用ケーブルが挿通する貫通孔を有し、ストッパは、シリンダ内部で、駆動力伝達用ケーブルに固定され、貫通孔以上の外径を有して、貫通孔と係合可能であり、付勢手段は、シリンダの底部とストッパとを結合する弾性部材である。
【００１５】
好ましくは、駆動力伝達用ケーブルは、ボーデンケーブルである。
【００１６】

好ましくは、流体圧人工筋の両端は、フレーム構造体内部に固定され、駆動力伝達用ケーブルは、フレーム構造体の一端側の貫通孔を介して、駆動対象物と結合する。

【００１７】

好ましくは、フレーム構造体内部の他方端側の内面と流体圧人工筋との間に、流体圧人工筋の収縮力を検知するための力センサが設けられる。

【００１８】

好ましくは、駆動対象物は、関節構造体であって、関節の可動部に設けら、駆動力伝達用ケーブルにより伝達される収縮力による第１のトルクを受けるプーリーと、プーリーに結合し、第２のトルクをプーリーに与えるための電動モータとをさらに備える。

【００１９】

この発明の他の局面に従うと、ユーザの筋骨格系運動の支援をするためのパワーアシストロボットであって、外骨格に対応するフレーム構造と、筋骨格系運動において対象となるユーザの関節にサポート力を与えるように配置される能動関節と、能動関節を駆動するアクチュエータ装置とを備え、アクチュエータ装置は、一方端が固定され、駆動のために外部から流体袋に流入される流体圧の上昇に伴って長手方向に収縮する流体圧人工筋と、流体圧人工筋の他方端から駆動対象物に流体圧人工筋の収縮力を伝達するための可撓性の駆動力伝達用ケーブルと、駆動力伝達用ケーブルの所定位置に固定されるストッパと、流体圧人工筋の他方端側に設けられ、流体圧人工筋の収縮が所定以上となることに応じて、ストッパと係合して流体圧人工筋の収縮力を駆動力伝達用ケーブルに伝達するための係合部材と、ストッパと係合部材とが係合状態以外の状態では、駆動力伝達用ケーブルの張力を維持するように張力を付与する付勢手段とを含み、能動関節に対するトルク制御により能動関節を動作させる制御部をさらに備える。

【００２０】

この発明のさらに他の局面に従うと、ヒューマノイドロボットであって、人間の骨格に対応するフレーム構造と、フレーム構造の関節に駆動力を与えるように配置される能動関節と、能動関節を駆動するアクチュエータ装置とを備え、アクチュエータ装置は、一方端が固定され、駆動のために外部から流体袋に流入される流体圧の上昇に伴って長手方向に収縮する流体圧人工筋と、流体圧人工筋の他方端から駆動対象物に流体圧人工筋の収縮力を伝達するための可撓性の駆動力伝達用ケーブルと、駆動力伝達用ケーブルの所定位置に固定されるストッパと、流体圧人工筋の他方端側に設けられ、流体圧人工筋の収縮が所定以上となることに応じて、ストッパと係合して流体圧人工筋の収縮力を駆動力伝達用ケーブルに伝達するための係合部材と、ストッパと係合部材とが係合状態以外の状態では、駆動力伝達用ケーブルの張力を維持するように張力を付与する付勢手段とを含む。

【発明の効果】

【００２１】

この発明の１つの局面に従うと、駆動力と応答性を両立させつつ、可動部分の慣性を小さくすることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【００２２】

【図１】上肢に対する外骨格型ロボットのブロック図の例である。

【図２】右上腕のための外骨格の運動学的な構成を示す図である。

【図３】実施の形態１の１自由度の空電ハイブリッド式アクチュエータシステムの構成を説明する図である。

【図４】空圧式エアマッスルの構成を示す断面図である。

【図５】空圧式エアマッスル３０２の伸張時と収縮時の状態を示す概念図である。

【図６】１自由度分の動作を行う空電ハイブリッドアクチュエータのシステムを制御する構成を説明するための機能ブロック図である。

【図７】実施の形態２の１自由度の空電ハイブリッド式アクチュエータシステムの構成を説明する図である。

【図８】実施の形態２の空圧式エアマッスル３０２´の構成を示す断面図である。

【図９】空圧式エアマッスルの伸張時と収縮時の状態を示す概念図である。
【図１０】１自由度分の動作を行う空電ハイブリッドアクチュエータのシステムを制御する構成を説明するための機能ブロック図である。
【図１１】１自由度分の動作を行う空電ハイブリッドアクチュエータのプロトタイプの外観を示す図である。
【図１２】コントローラーユニット１の構成を説明するための図である。
【図１３】１自由度システムに対する重力補償タスクのアングル軌道を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００２３】
以下、本発明の実施の形態の外骨格型ロボットの構成について、図に従って説明する。なお、以下の実施の形態において、同じ符号を付した構成要素および処理工程は、同一または相当するものであり、必要でない場合は、その説明は繰り返さない。
【００２４】
また、外骨格型ロボットの関節を駆動するためのアクチュエータとしては、一例として、以下に説明する「空電ハイブリッド式のアクチュエータ」を例として説明する。
【００２５】
そこで、以下、本実施の形態において、上肢のリハビリテーションのための空電ハイブリッド式のアクチュエータによる外骨格型ロボットについて説明する。
【００２６】
ただし、本発明の空電ハイブリッド式外骨格型ロボットは、上肢の運動をアシストするための外骨格型ロボットに対してだけでなく、下肢の運動をアシストする外骨格型ロボットとしても使用することが可能である。
【００２７】
また、以下の説明では、上肢の対としての運動をアシストする外骨格型ロボットについて説明するが、上肢のうちのいずれか一方、または、下肢のうちのいずれか一方の運動をアシストする外骨格型ロボットとして使用することも可能である。
【００２８】
さらに、本発明の空電ハイブリッド式外骨格型ロボットは、対象となる人間の筋骨格系の運動をアシストするのであれば、上述したような「上肢のうちの少なくともいずれか一方、または、下肢のうちの少なくともいずれか一方の運動」に限定されるものではなく、たとえば、対象となる人間の腰の運動のみをアシストするものであってもよいし、歩行または走行時において下肢の運動と連動して腰の運動をアシストするものであってもよい。本明細書では、このような対象となる人間の運動のアシストを総称して、「対象となる人間の筋骨格系運動の支援」と呼ぶことにする。
【００２９】
本実施の形態の外骨格型ロボットは、外骨格を有する。「外骨格」とは、人間の骨格構造に対応してロボットが有する骨格構造のことである。より特定的には、「外骨格」とは、外骨格型ロボットを装着する人間の体の一部を、外部から支えるフレーム（枠組み）構造のことをいう。
【００３０】
このフレーム構造には、さらに、フレーム構造の各部を人間の骨格構造に基づく運動に応じて動かすための関節が設けられる。
【００３１】
特に、上肢の運動をアシストする外骨格型ロボットは、肩部、肘部、手首部とを有し、少なくとも肩、肘、手首の左右の位置に、関節を有するロボットである。また、当該関節は、空電ハイブリッド駆動の関節である。以下、このように、外骨格型ロボットにおいて、ユーザの関節に対してサポート力を与えるためにアクチュエータにより駆動される関節のことを「能動関節」と呼ぶ。また、ユーザの動きにより受動的に動く関節を「受動関節」と呼ぶ。
［実施の形態１］

図１は、上肢に対する外骨格型ロボットのブロック図の例である。

【００３２】

外骨格型ロボット４０を制御するためのコマンドが、外部制御装置２０から、通信経路を介して外骨格型ロボットに与えられる。特に限定されないが、外部制御装置２０は、汎用のパーソナルコンピュータを用いることが可能であり、通信経路としては、イーサネット（登録商標）ケーブルを用いることができる。もちろん、通信経路としては、その他の規格の有線通信の経路の他、無線による通信経路、たとえば、無線ＬＡＮ（Local Area Network）や他の通信規格の無線などを使用してもよい。

【００３３】

外部制御装置２０は、ユーザからの指示入力を受ける入力部２０８と、コマンドを生成するためのプログラムや、様々な制御パラメータなど制御のために必要とされるデータが記録された不揮発性の記憶装置２０６と、外部制御装置２０を起動するためのファームウェアが記憶されたＲＯＭ（Read Only Memory）や、ワーキングメモリとして動作するＲＡＭ（Random Access Memory）などを含むメモリ２０４と、プログラムに応じて、コマンドを生成する処理を実行する演算装置２１０と、コマンドを通信経路を介して、外骨格型ロボットに送信するためのインタフェース（Ｉ／Ｆ）部２０２と、演算装置２１０の制御の下で、外骨格型ロボット１への制御の状態に関する情報などを表示するための表示装置２１２とを備える。

【００３４】

上述のとおり、外部制御装置２０が、汎用のパーソナルコンピュータである場合は、演算装置２１０は、ＣＰＵ（Central Processing Unit）で構成され、不揮発性の記憶装置２０６としては、ハードディスクドライブやソリッドステートドライブなどを用いることができる。ただし、外部制御装置２０の機能ブロックの一部または全部は、専用のハードウェアにより構成されてもよい。

【００３５】

また、外部制御装置２０は、たとえば、外骨格型ロボットが装着される使用者について、検知される関節角度や収縮力から関節トルクを推定するためのモデルをキャリブレーション時に構成する処理を行う。

【００３６】

外骨格型ロボットは、さらに、外骨格部１２１と内部制御装置１０を備える。なお、図では、右腕の外骨格部１２１のみを例示している。

【００３７】

外骨格部１２１は、上肢の上腕、前腕および掌にそれぞれ対応するフレームと、能動関節１２２、受動関節１２３、検出機構１２４を備える。さらに、能動関節１２２は、肩部の関節Ｒ－ＳＦＥと、肘部の関節Ｒ－ＥＦＥと、手首部の関節Ｒ－ＷＦＥとを含む。能動関節は、後に説明するように、エアマッスル（図示せず）から駆動力伝達ケーブルにより伝達される収縮力により駆動されるプーリ（図示せず）と、プーリを駆動する電動モータ（図示せず）を備える。また、前腕には、受動関節Ｒ－ＷＲが設けられる。

【００３８】

つまり、能動関節１２３は、エアマッスルと電動モータとの双方からの駆動力を受けるハイブリッド型アクチュエータである。なお、アクチュエータは、制御目標値となるトルク値を駆動信号として受け付け、受け付けたトルク値に基づいて制御する機能を有している。アクチュエータとして、サーボモータを使用する場合、アクチュエータは、例えば、電流制御が可能な駆動回路を有し、電流に比例したトルクを発生させるサーボモータは、制御目標値として入力されたトルク値に、ギヤ比により決定されるトルク定数を乗じて駆動回路に指令することで入力されたトルクを発生させるトルク制御を実現する。特に、能動関節１２３にトルクセンサを配設し、当該トルクセンサにより検出した値を駆動回路にフィードバックすることにより、高精度のトルク制御が可能となる。

【００３９】

また、内部制御装置１０は、Ｉ／Ｆ部１１、記録装置１３１、記憶装置 １３２、計測

装置１３３、制御部１３４、出力装置１３５を備える。

【００４０】

Ｉ／Ｆ部１１は、外部制御蔵置２０から指令されたトルクまたは位置指令等を受け付けることができる。

【００４１】

検出機構１２４は、各関節の関節角度や各関節に係るトルクを検知する。検出機構１２４は、例えば、各関節に配置された関節角度を検出する角度センサや、各エアマッスルの駆動力を検知するロードセルなどである。

【００４２】

内部制御装置１０は、能動関節１２３を動作させる。内部制御装置１０は、Ｉ／Ｆ部１１が受け付けた目標トルクまたは位置指令等に対応して、能動関節１２３を動作させる。

【００４３】

計測装置１３３は、センサ等の検出機構１２４から検出結果を示す様々な信号（データ）を受け付ける。制御部１３４は、制御目標値の算出等の様々な演算を行う。

【００４４】

出力装置１３５は、駆動部３０に制御信号を出力する。出力装置１３５は、例えば、目標とするエアマッスルの圧力値をエアバルブ３４に出力してエアマッスル３６を駆動したり、モータの制御値をモータドライバ３８に出力する。コンプレッサ４０により圧縮されエアタンク３２に蓄えられた圧縮空気が、エアバルブ３４経由で、エアマッスル３６に供給されて、エアマッスル３６の収縮力が駆動力伝達ケーブルにより駆動力として能動関節に伝達され、また、モータドライバ３８により能動関節部分のモータが駆動される。

【００４５】

電源５０は、内部制御装置１０や駆動部３０に電源を供給する。

【００４６】

駆動部３０と電源５０は、たとえば、地上に固定されていてもよいし、あるいは、被験者が車椅子に乗っている場合は、車椅子の後部などに搭載されてもよい。

【００４７】

また、「駆動力伝達ケーブル」とは、自転車のブレーキ機構にも用いられるような、外被ケースの中に金属製のワイヤーを通すことで、可撓性を有しつつ、力の伝達が可能なボーデンケーブルを用いることができる。以下では、駆動力伝達ケーブルが、ボーデンケーブルであるものとして説明する。

【００４８】

また、内部制御装置１０、駆動部３０および電源５０とは、一体のコントローラユニット１として、たとえば、上述したような車椅子の後部などに搭載されてもよい。

【００４９】

また、上述したような空圧式エアマッスルは軽量であり、圧縮空気（または圧縮気体：以下、総称して「圧縮流体」と呼ぶ）のエネルギーをゴムチューブにより収縮力に変換することにより大きな力を生み出すことができる。

【００５０】

エアマッスルが、力を発生させる原理は、空圧式の空気袋が埋め込まれたらせん状のファイバーが、圧縮空気が送り込まれて空気袋が膨張すると、長手方向（縦方向）に収縮するというものである。

【００５１】

より詳しく説明すると、両端部に栓をしたゴムチューブに対して、動径方向を拘束するよう、表面にらせん状にまかれたファイバーを被せた構造になっている。このゴムチューブの中に空気を送り込むと、空気の圧力でゴムチューブが膨張する。しかし、動径方向はファイバーによって拘束されているため膨張できず、径方向の膨張に引っ張られて縦方向に収縮する。膨らみながら収縮する様が動物の筋肉に似ているところが人工筋肉と呼ばれる。

【００５２】

アクチュエータ自体が軽く、柔らかい。さらに、ゴムチューブの内面全体がアクチュエータの収縮に寄与するため、断面積のみで圧力を受ける構造になっている一般的なエアシリンダー等よりも、パワー・ウェイト・レシオを大きく取りやすい。反面、上述したように、一般に空気圧による機器制御は空気の収縮・膨張などによる、制御遅れが大きく、素早い動作は一般には向いていない。

【００５３】

なお、「空気袋」は、流体により膨張ないし収縮運動をするものであれば、袋中に流入するものは、空気に限られないので、より一般には、「流体袋」と表現する。

【００５４】

そこで、空圧式エアマッスルを、「空気圧人工筋」とも呼ぶこととし、より一般的には、空気以外の流体の場合を含む場合は、「流体圧人工筋」と呼ぶことにする。

【００５５】

ただし、以下では、具体例として、空圧式エアマッスルを例にとって説明する。

【００５６】

図２は、右上腕のための外骨格の運動学的な構成を示す図である。

【００５７】

図２（ａ）に示すように、外骨格の関節部には、ボーデンケーブルを備えた空電ハイブリッド式アクチュエータによって動力が供給される。肩部、肘部および手首部に、能動的な屈曲伸張（FE：flexion-extension）関節ＳＦＥ，ＥＦＥ，ＷＡＡが設けられる。したがって、関節ＳＦＥ，ＥＦＥ，ＷＡＡには、関節部分にプーリーが設けられ、このプーリーに、空圧式エアマッスルからの駆動力がボーデンケーブルにより伝達されてトルクが与えられるとともに、プーリー部分には、電動モータも設けられ、この電動モータによっても、プーリーにトルクが与えられる。

【００５８】

ただし、手首部については、軽量化のために、電動モータを設けることなく、拮抗する組の空圧式エアマッスルによる動力のみが、手首の屈曲伸張関節ＷＦＥに供給される。

【００５９】

また、前腕部には、腕のねじりの動きに対応するために、受動関節ＷＲが設けらえる。

【００６０】

なお、「Ｒ－」は、各関節が右腕のものであることを示す。左腕を示す場合には、「Ｌ－」を付加することにする。

【００６１】

図２（ｂ）は、外骨格腕の３Ｄ　ＣＡＤアセンブリによる外観図を示す。

【００６２】

一例として、典型的なユーザーの腕それ自体と、両方の手について、各関節角度(θ_{SFE}，θ_{EFE})＝(０，０)で５ｋｇの重量、および(θ_{SFE}，θ_{EFE})＝(－π／２，０)で１０ｋｇの重量を保持するというタスクを想定して、空圧式エアマッスルの径およびプーリ半径を選択することができる。

【００６３】

モータからのトルクは、減速歯車(14:1)およびかさ歯車（2:5）によって伝達される。関節角は、光学の直交位相エンコーダにより計測される。

【００６４】

関節は、減速歯車のおかげで、小さな力でバックドライバブルであるが、モータートルクは、いずれにしてもユーザーの腕を保持するのには十分ではない。一方で、空圧式エアマッスルからのトルクは、レスポンスが遅い。そこで、空圧式エアマッスルのトルクとモータートルクの両方を組合せて互いに補いあう構成とすることは、人間の腕を保持するのに合理的である。

［１自由度の空電ハイブリッド式アクチュエータ］

以下では、本実施の形態の空電ハイブリッド式アクチュエータの構成と動作を説明するために、１自由度の空電ハイブリッド式アクチュエータを例として説明する。

【００６５】

図３は、実施の形態１の１自由度の空電ハイブリッド式アクチュエータ（ＰＥＨＡ １－ＤＯＦ）システムの構成を説明する図である。

【００６６】

２つの拮抗する空圧式エアマッスル３０２ａおよび３０２ｂは、拮抗する収縮力を生成し、この収縮力は、ボーデンケーブル３１０ａおよび３１０ｂ内の内側ワイヤー３０８ａおよび３０８ｂにより、プーリー３２０にそれぞれ伝達される。

【００６７】

モータ３２２のトルクは、ベルトまたはギアのような伝達機構３２１により、プーリー３２０に伝達される。

【００６８】

ボーデンケーブルは、内側ワイヤーおよび柔軟な外側ケースから成る。ボーデンケーブルを力の伝達に用いることにより、人間に装着される外骨格型ロボット４０の重量を減らし、ロボットの骨組みの構造上のスペースを節約できる。

【００６９】

プーリー３２０でのトルクの合計τは、空圧式エアマッスルのトルク（τ_{PAM}）およびモーター３１２のトルク（τ_{motor}）の和である。

【００７０】

【数１】

$$\tau = \tau_{PAMs} + \tau_{motor} = (f_{PAM1} - f_{PAM2})r_0 + \tau_{motor}$$

ここで、f_{PAM1}が空圧式エアマッスル３０２ａの収縮力であり、f_{PAM2}は、空圧式エアマッスル３０２ｂの収縮力である。また、r_0はプーリ半径であり、円形プーリー以外に楕円形プーリを使用することも可能である。

【００７１】

電動モータ３２２のトルクと空圧式エアマッスル３０２の時間応答性には、上述したような特徴があるので、空圧式エアマッスルは、重力補償か低周波トルク生成用の大きなトルクをカバーする。モータ３２２は、高周波トルクをカバーするものの、そのトルクは、バックドライバビリティのために、低い減速歯車で小さくなっている。

【００７２】

空圧式エアマッスルが納められる外部フレームの底部と、空圧式エアマッスル３０２ａおよび３０２ｂの下端との間には、空圧式エアマッスルの収縮力を検知するためのロードセル３０４ａおよび３０４ｂがそれぞれ設けられる。

【００７３】

図４は、図３に示した空圧式エアマッスルの構成を示す断面図である。

【００７４】

図４を参照して、空圧式エアマッスル３０２（空圧式エアマッスル３０２ａおよび３０２ｂを総称するときは、こう呼ぶ）は、人工筋のチャンバを構成する柔軟素材１００を備える。柔軟素材１００の内部は圧縮空気（灰色で示す）により満たされることで、圧力が人工筋内部の張力に変換される。柔軟素材１００とは、上述した、空圧式の空気袋が埋め込まれたらせん状のファイバの一体となった素材を意味する。

【００７５】

柔軟素材１００の端部外側を保持する部品１０１と、空圧式エアマッスル３０２の端部と結合する部材１０２との摩擦力により柔軟素材１００が保持され、大気圧とシールを保つ。

【００７６】

柔軟素材１００の一端部内側を保持する部品１０２は、圧力制御弁へ接続されるエア供給口を有する。柔軟素材１００の他端部内側を保持する部品１０２´は、部品１０２と柔軟素材１００の端部内側を保持することは共通であるものの、中心に部品１０９を接続す

るための内ネジが存在する。
【００７７】
ボーデンケーブルは、内側ワイヤ１０３と外被部１０３´とから成る。
【００７８】
部品１０４は、内側ワイヤ１０３の端部と接続され、部品１０９の貫通孔を通すことができる。部品１０４と内側ワイヤ１０３の端部とは、カシメなどで接合され、部品１０４の下部にはネジ部が設けられる。
【００７９】
部品１０５は、内側にネジ山が形成された円筒状の部材であり、部品１０４の外側を覆うように部品１０５の外周に設けられるネジ溝により係合され、ネジ部のねじ込み量により取り付け位置を上下調整できる。部品１０５は、部品１０９の貫通孔よりも大きいため、空圧式エアマッスル３０２が収縮して、部品１０５の上端が部品１０９の下端と当たる箇所で、内側ワイヤ１０３が部品１０９および部品１０２´と一体化され、柔軟素材１００の収縮力がワイヤ１０３に伝達される。すなわち、部品１０５は、空圧式エアマッスル３０２の収縮力をワイヤ１０３に伝達するためのストッパとして機能する。
【００８０】
弾性部材１０６は、部品１０４を下方向に引く部材であり、たとえば、スプリングを用いることができる。部品１０５が上端から離れる場合は、スプリング１０６によりワイヤ１０３に一定の張力を与え、ワイヤ１０３がたるむのを防止できる。
【００８１】
部材１０７は、大気圧と人工筋チャンバ内の圧縮空気（灰色）を隔てるシール部材である。たとえば、部材１０７の上端は、シール部材１０７Ａとシール部材１０７Ａ´との組み合わせであってもよいし、もしくは、Oリング１０７Ｂにより、パイプシリンダ１０８内部の大気圧と人工筋チャンバの空圧とをシールしている。また、パイプシリンダ１０８の下端は、底蓋体１０８´とシール部材１０７ｃ（またはOリング）によりシールされている。
【００８２】
パイプシリンダ１０８は、外径が部品１０２´のネジの内径より小さい。
【００８３】
部品１０９は、パイプシリンダ１０８の上部の蓋としても機能し、部品１０２´の内側のネジ溝にねじ込める構成となっている。また、先端部分の外径は、部品１０８の内径よりも小さく、ねじ込んだ際には、部品１０８内部に先端部分が入り込み、上述のとおりシール部材１０７により機密性が保たれる構成となっている。
【００８４】
力センサ１１０は、人工筋の張力を計測するものであり、たとえば、ロードセルを用いることができる。なお、人工筋の張力を計測するためには、部品１０９の中心に中空のロードセル１１０´を設置する構成としてもよい。
【００８５】
部品１１１は、ボーデンケーブルの外被部材１０３´を押さえる部材である。
【００８６】
空圧式エアマッスル３０２は、フレーム内に収納されており、このフレームは、上面および下面平板１１２と支柱１１３により構成される。フレームにより、アクチュエータ端部と部品１１１との距離が一定に保たれる。
【００８７】
なお、図４の構成では、人工筋の収縮率を計測し力制御可能である。たとえば、底蓋体１０８´の下面と部品１０２の上面とにレーザー距離計１１４と光学式エンコーダを設けることで、空圧式エアマッスルの収縮率を直接計測することができ、これを用いて力制御を行うことができる。なお、収縮率の計測には、ワイヤ１１３の逆先端（駆動関節部）などに取り付けたエンコーダを利用することも可能である。
【００８８】

支柱１１３をパイプで構成することも可能で、この場合は、外に人工筋・センサ・可動部のいずれも露出しない圧力-張力変換モジュールを構成することが可能である。

【００８９】

図５は、図４に示した空圧式エアマッスル３０２の伸張時と収縮時の状態を示す概念図である。

【００９０】

上述したとおり、空圧式エアマッスル３０２が収縮して、部品１０５（ストッパ）の上端が部品１０９の下端と当たる箇所で、内側ワイヤ１０３が部品１０９および部品１０２´と一体化され、柔軟素材１００の収縮力がワイヤ１０３に伝達される。

【００９１】

一方、スプリング１０６は、部品１０４を下方向に引く部材であり、部品１０５が上端から離れる場合は、スプリング１０６によりワイヤ１０３に一定の張力を与え、ワイヤ１０３がたるむのを防止できる。

【００９２】

図６は、図３に示した１自由度分の動作を行う空電ハイブリッドアクチュエータのシステムを制御する構成を説明するための機能ブロック図である。

【００９３】

図６においては、内部制御装置１０は、マルチファンクションボード(Multi Function board)として構成される。

【００９４】

外部制御装置２０に接続されたマルチファンクションボード１０は、外部制御装置２０からのコマンドに応じて、アクチュエーターを制御する。具体的には、マルチファンクションボード１０は、空圧式エアマッスル３０２ａおよび３０２ｂの収縮を制御するためのバルブ３０１ａとバルブ３０１ｂ、ならびに、電動モータ３２２を制御するためのモータドライバ３２１を制御する。さらに、マルチファンクションボード１０は、関節角度θを検知する角度エンコーダ３２４およびエアマッスルからの駆動力を検知するロードセル３０４ａおよび３０４ｂ、能動関節に加わるトルクを検知するトルクセンサからの計測データを読み取ることで、これらに基づき、印加するトルクを制御を実行する。

【００９５】

ロードセルアンプ３０６ａおよび３０６ｂは、ロードセル３０４ａおよび３０４ｂの出力を増幅して、マルチファンクションボード１０に伝達する。

【００９６】

エアマッスル３０２ａおよび３０２ｂならびに電動モータ３２２からの駆動力は、プーリー付回転関節３２０において合成され、腕３５０にトルクτを与える。

【００９７】

このような構成のハイブリッド型アクチュエータにより、駆動力と応答性を両立し、可動部分の慣性を小さくすることが可能である。

【００９８】

また、パイプシリンダ１０８の体積分だけ、柔軟素材１００の人工筋チャンバ内で圧縮空気を導入する体積が減少するので、同一の収縮力を発生させる場合を想定した場合に、空圧式エアマッスル３０２の応答性も改善する。

【００９９】

また、外に人工筋・センサ・可動部のいずれも露出しない圧力-張力変換モジュールを構成することができれば、コントローラユニットのフレーム内に複数のモジュールを装着する際のメンテナンス性も向上する。

[実施の形態２]

図７は、実施の形態２の１自由度の空電ハイブリッド式アクチュエータ（ＰＥＨＡ １－ＤＯＦ）システムの構成を説明する図である。

【０１００】

図３の実施の形態１の図と対応する図であるので、相違点を説明すると以下の点である

。

【０１０１】
まず、空圧式エアマッスル３０２ａ´および３０２ｂ´の構成が後に説明するように実施の形態１とは異なる。また、空圧式エアマッスル３０２ａ´および３０２ｂ´の構成の相違に起因して、ロードセル３０４ａおよび３０４ｂが、圧式エアマッスル３０２ａ´および３０２ｂ´の上端側とボーデンケーブル３１０ａおよび３１０ｂとが結合する側に設けられていることである。

【０１０２】
図８は、実施の形態２の空圧式エアマッスル３０２´の構成を示す断面図である。

【０１０３】
図４と対応する図であるため、主として異なる点を説明する。

【０１０４】
まず、部品１０１および柔軟素材１００からなる空圧式エアマッスルの構成は従来の構成と同様である。

【０１０５】
空圧式エアマッスルの下端は、部品１１８により、フレームの下平板１１２と接続される。空圧式エアマッスルの上端は、部品１１８およびロードセル１１０を介して、部品１２０と接続する。

【０１０６】
部品１２０は、主軸方向の第１円筒と下方斜め方向の第２円筒とを結合した形状をしており、第１円筒の中心から第２円筒の中心に向けて、内側ワイヤー１０３が挿通する貫通孔が設けられている。内側ワイヤー１０３は、この貫通孔を通った後に、弾性体（スプリング）１０６により、フレームの下平板１１２と接続される。

【０１０７】
内側ワイヤー１０３は、この貫通孔を通った位置近傍に、ストッパ１０５が、内側ワイヤーに固定される。ストッパ１０５は、部品１２０の貫通孔よりも大きいために、空圧式エアマッスルが収縮して、ストッパ１０５の上端が部品１２０の下端と当たる箇所で、内側ワイヤー１０３が部品１２０と一体化され、柔軟素材１００の収縮力がワイヤ１０３に伝達される。

【０１０８】
その他の点は、図４の構成と同様であるので、説明は省略する。

【０１０９】
図９は、図８に示した空圧式エアマッスルの伸張時と収縮時の状態を示す概念図である。

【０１１０】
上述したとおり、空圧式エアマッスルが収縮して、ストッパ１０５の上端が部品１２０の下端と当たる箇所で、内側ワイヤー１０３が部品１２０と一体化され、柔軟素材１００の収縮力がワイヤー１０３に伝達される。

【０１１１】
一方、スプリング１０６は、内側ワイヤー１０３を下方向に引く部材であり、ストッパ１０５が部品１２０から離れる場合は、スプリング１０６によりワイヤー１０３に一定の張力を与え、ワイヤー１０３がたるむのを防止できる。

【０１１２】
図１０は、図７に示した１自由度分の動作を行う空電ハイブリッドアクチュエータのシステムを制御する構成を説明するための機能ブロック図である。

【０１１３】
なお、この図では、空圧式エアマッスル一方のみの制御系を記載している。

【０１１４】
外部制御装置２０に接続されたマルチファンクションボード１０は、外部制御装置２０からのコマンドに応じて、アクチュエーターを制御する。具体的には、マルチファンクシ

ョンボード１０は、空圧式エアマッスル３０２ａの収縮を制御するためのバルブ３０１ａと、ならびに、電動モータ３２２を制御するためのモータドライバ３２１を制御する。さらに、マルチファンクションボード１０は、関節角度θを検知する角度エンコーダ３２４およびエアマッスルからの駆動力を検知するロードセル３０４ａ、能動関節に加わるトルクを検知するトルクセンサからの計測データを読み取ることで、これらに基づき、印加するトルクを制御を実行する。

【０１１５】

ロードセルアンプ３０６ａは、ロードセル３０４ａの出力を増幅して、マルチファンクションボード１０に伝達する。

【０１１６】

エアマッスル３０２ａならびに電動モータ３２２からの駆動力は、プーリー付回転関節３２０において合成され、腕３５０にトルクτを与える。

【０１１７】

図１１は、図７に示した１自由度分の動作を行う空電ハイブリッドアクチュエータのプロトタイプの外観を示す図である。

【０１１８】

図１１は、ボーデンケーブルを備えたＰＥＨＡをテストするための１－ＤＯＦシステムであり、空圧式エアマッスル（図１１中で下側、ＰＡＭ２）は、関節システムとは離れて設けられており、収縮力がボーデンケーブルの内側のケーブルおよび外部の柔軟な外被材を通して伝達される。

【０１１９】

なお、図１１の上側の空圧式エアマッスル（ＰＡＭ１）は、収縮力というよりも、関節に加わるトルクの大きさの安全性限界を与えるために使用する。

【０１２０】

図１２は、コントローラーユニット１の構成を説明するための図である。

【０１２１】

図１２（ａ）は、プロトタイプの右の腕、および、ユーザーの腕が上体の外骨格腕にとりつけられている場合の概観を示す図である。

【０１２２】

ユーザーの腕へ外骨格をつけるために、肘－手首間および肩－肘間の双方で、結合部にベルトが設けられる。

【０１２３】

図１２（ｂ）および図１２（ｃ）は、外骨格腕構造から機械的に独立しており、ボーデンワイヤーおよび電気ケーブルによって接続されるコントローラーユニット１を示す。

【０１２４】

図１２（ｂ）は、図８において説明したように、プーリ側での受動運動によって、内側ワイヤーが緩むのを避ける機構を示す。

【０１２５】

肩の角度が下がるとともに、内側ワイヤー１０３は、空圧式エアマッスルの方へ自身を押し下げる。空圧式エアマッスル側は、ワイヤーを常に緩めないようにコントロールする必要がある。そうでなければ、ワイヤーはよじれて、プーリ溝からはずれるかもしれないからである。そこで、内側ワイヤー１０３は、収縮力を伝達する際には、ストッパー１０５により部品１２０に係合して空圧式エアマッスルと連動して動くものの、逆向きに動く際には、ストッパ１０５が、部品１２０からはずれ、図示しないスプリング１０６により、下向きに引っ張られることで、一定の張力を維持する。

【０１２６】

図１２（ｃ）は、空圧式エアマッスルとバルブのアラインメントを図示する。

【０１２７】

多機能ボード１０およびロードセルアンプ３０６もモータドライバ３２１の下に位置する。

【０１２８】
コントローラーユニットは、交流電源(100-240V)、コンプレッサへのエアラインおよび外部制御装置２０と通信するイーサネット（登録商標）ケーブルのために、外部と接続する。

【０１２９】
上肢外骨格の肩部は、地面に設置された安定なフレームに取り付けられており、コントローラーユニットのフレーム内には、空圧式エアマッスルのほか、エアタンク３２および内部制御装置１０と、電源５０も設けられている。

【０１３０】
スクロール型コンプレッサ４０だけが、静音性のために、これらの構成の外部であって、フレームの後ろに設けられており、空圧を供給している。

【０１３１】
パワーツーウェイトレイショーが大変大きく、外骨格腕の中で使用された空圧式エアマッスルは、５０００Nまでの力を出すことができる。

【０１３２】
これに反して、そのような大きな力を伝達する場合には、ボーデンケーブルあるいはワイヤー・ストッパは、動作可能でない。

【０１３３】
このため、図１１に示した構成では、予め試験をして、安全性限界を確認しおき、上述したように、１１の上側の空圧式エアマッスル（ＰＡＭ１）は、収縮力というよりも、関節に加わるトルクの大きさの安全性限界を与えるために使用する。

【０１３４】
図１１では、上部方向への空圧式エアマッスル力制御だけを考慮している。たとえば、拮抗筋の制御される力が一定であり、関節はこの拘束に従っているものとする。

【０１３５】
エアマッスルの制御にあたっては、以下の点を考慮する必要がある。

【０１３６】
第１に、空圧式エアマッスル力はその収縮割合によって引き起こされる非常に非線形なものである。

【０１３７】
この点は、たとえば、以下の文献に開示がある。

【０１３８】
公知文献１：A. Hildebrandt, O. Sawodny, R. Neumann, and A. Hartmann, ”Cascaded control concept of a robot with two degrees of freedom driven by four artificial pneumatic muscle actuators, ” pp. 680-685, 2005.
その上に、大きな力での動作は、エンコーダと空圧式エアマッスルの間の相当なケーブルの伸張をもたらし、空圧式エアマッスル収縮割合の推定誤差を引き起こす。

【０１３９】
第２に、明示的には、ボーデンケーブル伝達系において外部ケースと内側ケーブルとの間に力のロスを考慮していない。

【０１４０】
ボーデンケーブル摩擦の補正にあたっては、以下の文献に開示された静的なの摩擦係数モデルを連続的なものに拡張することで対処できる。

【０１４１】
公知文献２：L. E. Carlson, B. D. Veatch, and D. D. Frey, ”Efficiency of Prosthetic Cable and Housing, ” JPO: Journal of Prosthetics and Orthotics, vol. 7, no. 3, p. 96, 1995.
また、空圧式エアマッスル収縮力モデルについては、以下の文献に、均衡点における２次オーダー多項式機能として記載されている。

【０１４２】

公知文献３：K. Inoue, ”Rubbertuators and applications for robots, ”in Proceedings of the 4th international symposium on Robotics Research. MIT Press, 1988, pp. 57-63.

公知文献４：D. Caldwell, A. Razak, and M. Goodwin, ”Braided pneumatic muscle actuators, ” in Proceedings of the IFAC Conference on Intelligent Autonomous Vehicles, 1993, pp. 507-512.

さらに、大きな力での動作では、さらに内側のワイヤー拡張および機械的な変形を考慮しなければならない。

【０１４３】

これに対しては、以下の文献に開示される空電ハイブリッドシステムのための腱スプリング・モデルを考慮することで対処可能である。

【０１４４】

公知文献５：T. Noda, N. Sugimoto, J. Furukawa, M. Sato, S. Hyon, and J. Morimoto, Brain-controlled exoskeleton robot for bmi rehabilitation, ” Proceedings of IEEE-RAS International Conference on Humanoids (Humanoids), 2012.

以上のような制御系の構成において、実際にプロトタイプの制御を行った実験結果を説明する。

【０１４５】

図１３は、１自由度システムに対する重力補償タスクのアングル軌道を示す図である。

【０１４６】

図１３（ａ）および図１３（ｂ）は、２．５kgおよび５．０kgの重力補償タスクで測定された関節角を示す。図１３（ｃ）は、重力補償動作中のスナップ写真である。

【０１４７】

重力補償をするために、重力に対する垂直のアシスト力および関節トルクは次のように生成される:

【０１４８】

【数２】

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{J}^T \mathbf{G}_{r+h}$$

ここで、JはCOMヤコビ行列であり、Gr+hは希望の仮想力で、外骨格型ロボットの各関節の所望のトルクである。

【０１４９】

実験者が動かし、システムをリリースする場合、関節角が維持されれば、このタスク中のフィード・フォワードトルクベースのコントローラーが動作していると確認できる。

【０１５０】

図１３（ａ）および（ｂ）のグラフ中の水平なエリアは、リリースされた後重量が保持されることを意味する。

【０１５１】

この場合、大きなトルクが重量を保持するために生成されるが、関節はバックドライバブルである。５．０kgを下げた腕は、1本の指で上部方向と下位方向の方へ非常に容易に移動させることができる。

【０１５２】

このような構成のハイブリッド型アクチュエータによっても、実施の形態１と同様に、駆動力と応答性を両立し、可動部分の慣性を小さくすることが可能である。

【０１５３】

また、外に人工筋・センサ・可動部のいずれも露出しない圧力-張力変換モジュールを構成することができれば、コントローラユニットのフレーム内に複数のモジュールを装着する際のメンテナンス性も向上する。

【０１５４】

以上説明したような実施の形態のアクチュエータ装置は、外骨格型ロボットに対してだけでなく、ヒューマノイドロボットの駆動系として使用することも可能である。

【０１５５】

今回開示された実施の形態は、本発明を具体的に実施するための構成の例示であって、本発明の技術的範囲を制限するものではない。本発明の技術的範囲は、実施の形態の説明ではなく、特許請求の範囲によって示されるものであり、特許請求の範囲の文言上の範囲および均等の意味の範囲内での変更が含まれることが意図される。

【符号の説明】

【０１５６】

１　コントローラユニット、１０　内部制御装置、２０　外部制御装置、４０　外骨格型ロボット、１００　柔軟素材、１０５　ストッパ、１０９、１２０　部品、１２１　外骨格部、１２２　能動関節、１２３　受動関節１２３、１２４　検出機構、３０２ａ，３０２ｂ　空圧式エアマッスル、３０８ａ，３０８ｂ　内側ワイヤー、３１０ａ，３１０ｂ　ボーデンケーブル、３２０　プーリー、３２１　伝達機構、３２２　電動モータ。

【要約】

【課題】駆動力と応答性を両立させるハイブリッド型アクチュエータにおいて、可動部分の慣性を小さくすることが可能なアクチュエータ装置を提供する。

【解決手段】　空圧式エアーマッスルは、空圧式人工筋肉を構成する柔軟部材１００の内部にシリンダ１１２が設けられる。シリンダ１１２の上部の蓋体部品１０９の中央には、貫通孔があり、ボーデンケーブルの内側ワイヤ１０３は、この貫通孔を通って、スプリング１０６により、シリンダの底部と結合している。空圧式人工筋肉が収縮すると、ストッパ１０５により内側ワイヤ１０３と空圧式人工筋肉が一体となって動き、収縮力が伝達される。これに対して、空圧式エアーマッスルが伸張したときは、ストッパ１０５は、はずれるものの、スプリング１０６により、内側ワイヤ１０３の張力はたるまないように維持される。

【選択図】図４

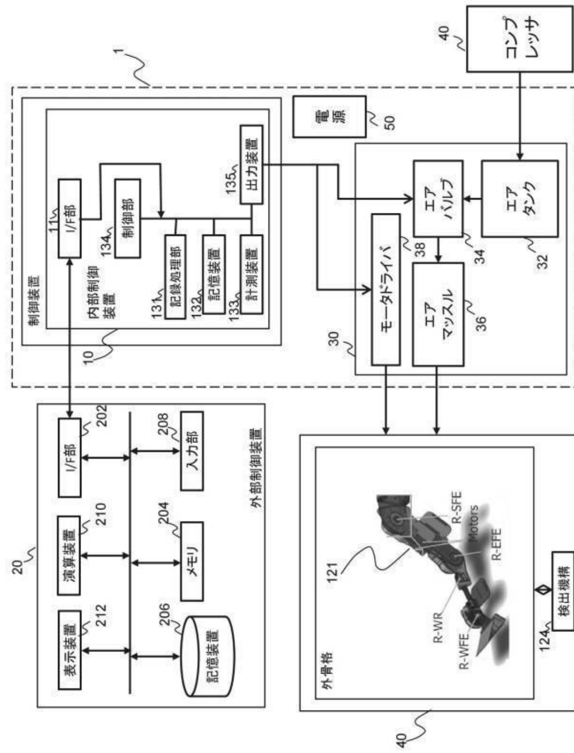
【図３】

【図６】

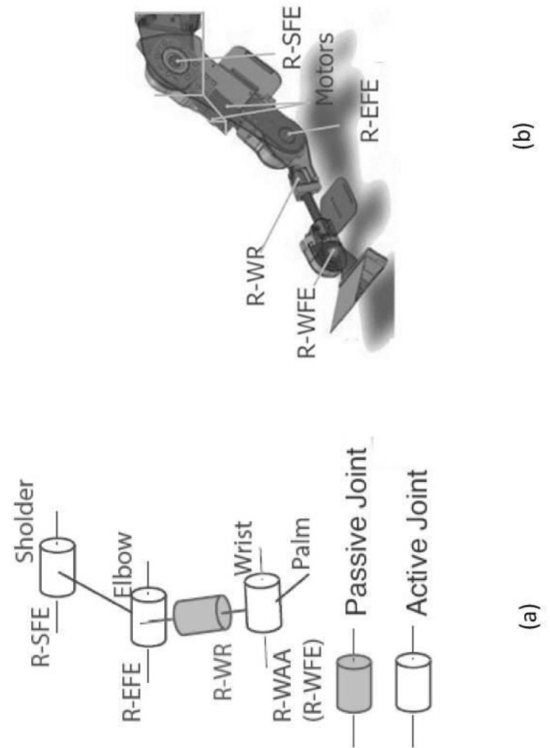
【図８】

【図１０】

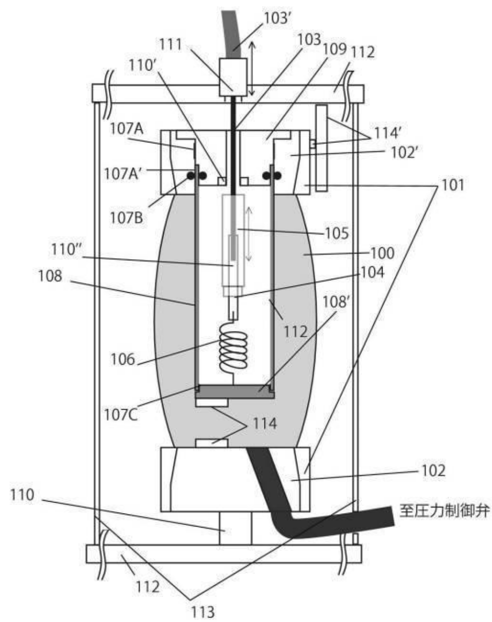
【図１】


1
制御装置
10
内部制御装置
11 I/F部
134 制御部
131 記録処理部
132 記憶装置
133 計測装置
135 出力装置
電源
50
40
コンプレッサ
30
モータドライバ
38
エアバルブ
34
エアタンク
32
エアマッスル
36
20
外部制御装置
202 I/F部
210 演算装置
212 表示装置
208 入力部
204 メモリ
206 記憶装置
40
外骨格
121
R-SFE
Motors
R-EFE
R-WR
R-WFE
124 検出機構

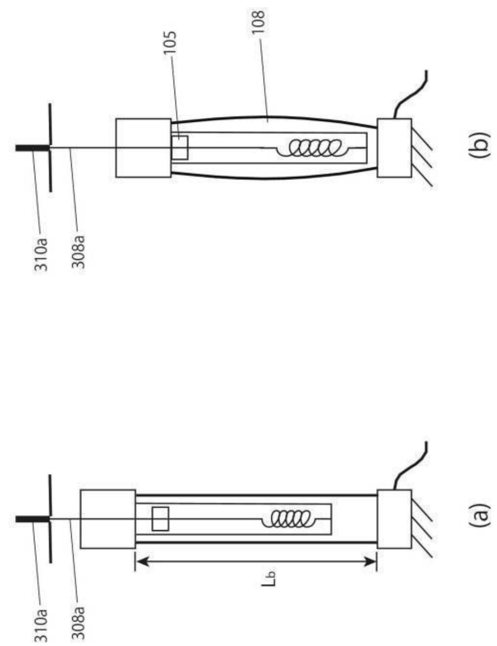
【図２】


Sholder
R-SFE
Elbow
R-EFE
R-WR
Wrist
Palm
R-WAA
(R-WFE)
Passive Joint
Active Joint
(a)
R-SFE
Motors
R-EFE
R-WR
R-WFE
(b)

【図４】


103'
111
103
109
112
110'
107A
107A'
107B
114'
102'
101
105
110''
100
108
104
108'
112
106
107C
114
102
110
至圧力制御弁
112
113

【図５】


105
108
310a
308a
(b)
310a
308a
Lb
(a)

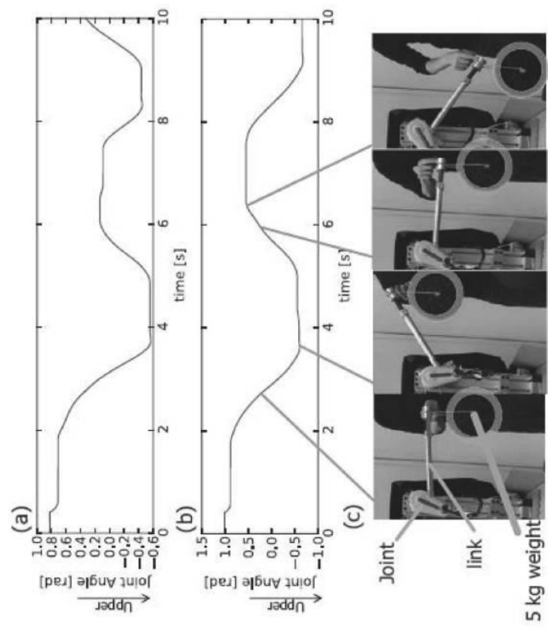
【図７】

【図９】

【図１１】

【図１２】

【図１３】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ＦＩ
Ａ６１Ｈ 3/00 Ｂ

(56)参考文献 特開２０１２－４５１９４（ＪＰ，Ａ）
特開平４－１７０９３１（ＪＰ，Ａ）
米国特許第５０３１５１０（ＵＳ，Ａ）
特開２０１４－５７６２６（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｆ１５Ｂ １５／１０
Ｂ２５Ｊ